

[First Hit](#) [Previous Doc](#) [Next Doc](#) [Go to Doc#](#)

End of Result Set

☐ [Generate Collection](#) [Print](#)

L11: Entry 1 of 1

File: EPAB

Mar 18, 1982

PUB-NO: DE003117432A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 3117432 A1

TITLE: Method for joining metal parts

PUBN-DATE: March 18, 1982

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

NARASIMHAN, MANDAYAM C

COUNTRY

US

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

ALLIED CHEM

COUNTRY

US

APPL-NO: DE03117432

APPL-DATE: May 2, 1981

PRIORITY-DATA: US14681680A (May 5, 1980)

US-CL-CURRENT: 219/118

INT-CL (IPC): B23K 11/16; B23K 35/34

EUR-CL (EPC): B23K035/00; B23K035/30

ABSTRACT:

CHG DATE=19990617 STATUS=O> Two metal faces with a glassy metal alloy arranged therebetween are pressed together and voltage applied to the metal parts generates a current which causes a phase transition of a part of the glassy metal alloy and results in a cohesive bond between the two base metal faces.

[Previous Doc](#) [Next Doc](#) [Go to Doc#](#)

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 31 17 432 A1**

⑤① Int. Cl. 3:
B23K 11/16
B 23 K 35/34

②① Aktenzeichen:
②② Anmeldetag:
④③ Offenlegungstag:

P 31 17 432.9-34
2. 5. 81
18. 3. 82

Behördeneigentum

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①
05.05.80 US 146816

⑦② Erfinder:

Narasimhan, Mandayam C., Seekonk, Mass., US

⑦① Anmelder:

Allied Chemical Corp., 07960 Morristown, N.J., US

⑦④ Vertreter:

Weber, D., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Seiffert, K., Dipl.-Phys.,
Pat.-Anw., 6200 Wiesbaden

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Verfahren zur Verbindung von Metallteilen**

Zwei Metallflächen mit einer dazwischen angeordneten
glasartigen Metallegierung werden zusammengepreßt, an die
Metallteile angelegte Spannung erzeugt einen Strom, der eine
Phasenumwandlung eines Teiles der glasartigen Metallegie-
rung verursacht und eine kohäsive Bindung zwischen den
beiden Basismetallflächen ergibt. (31 17 432)

DE 31 17 432 A1

DE 31 17 432 A1

000501

3117432

Dr. Dieter Weber
Klaus Seiffert

Patentanwälte

Dipl.-Chem. Dr. Dieter Weber • Dipl.-Phys. Klaus Seiffert
Postfach 6145 • 6200 Wiesbaden

D-6200 Wiesbaden 1

Gustav-Freytag-Straße 25
Telefon 06121/87 27 20
Telegrammadresse: Willpatent
Telex: 4-186247

Postscheck: Frankfurt/Main 67 68-602
Bank: Dresdner Bank AG, Wiesbaden.
Konto-Nr. 276807 (BLZ 510 800 60)

Deutsches Patentamt

Zweibrückenstr. 12

8000 München 2

Datum 29. April 1981

7000-1508

We/Wh

Allied Chemical Corporation,
Morristown, N.J. 07960, USA

Verfahren zur Verbindung von
Metallteilen

Priorität: Serial No. 146 816
vom 5. Mai 1980 in USA

P a t e n t a n s p r ü c h e

- ①. Verfahren zur Verbindung von Metallteilen, dadurch gekennzeichnet, daß man zwischen zwei Metalloberflächen eine glas-

artige Metallegierung anordnet, die Metalloberflächen gegeneinander preßt und an die Metalloberflächen einen ausreichenden elektrischen Strom anlegt, um eine Phasenumwandlung der glasartigen Metallegierung zu bewirken.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man eine glasartige Metallegierung verwendet, die Bor, vorzugsweise 5 bis 12 Atom-% Bor, enthält.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß man Metallflächen miteinander verbindet, die aus Legierungen bestehen, welche vorherrschend Übergangsmetalle enthalten.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man Metallflächen miteinander verbindet, die aus einer Eisenlegierung, vorzugsweise aus Stahl, bestehen.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß man eine glasartige Metallegierung verwendet, die einen spezifischen Widerstand größer als das 1,2fache des spezifischen Widerstandes des die Oberflächen bildenden Metalles hat.
6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß man Metallflächen miteinander verbindet, die von zwei Metallbögen oder -blechen gebildet werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß man den Strom mit Hilfe zweier Elektroden anlegt, die die beiden Metallbögen oder -bleche mit der glasartigen Metallegierung dazwischen angeordnet zusammenpressen.

09.05.81

3117432

8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß man eine glasartige Metallegierung verwendet, deren Solidustemperatur wenigstens 20°C geringer als die niedrigste Solidustemperatur der Metalloberflächen ist.

Verfahren zur Verbindung von
Metallteilen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung kohäsiver Verbindungen zwischen zwei Metalloberflächen.

Schweißen ist ein Verfahren zum Verbinden von Metallteilen miteinander. Widerstandsschweißen wird derzeit hauptsächlich industriell für Massenproduktion angewendet und umfaßt herkömmliche Verfahren, wie Punktschweißen, Nahtschweißen, Widerstandsabschmelzschweißen, Buckelschweißen, Schlag-schweißen und Stumpfschweißen. Beim Widerstandsschweißen werden die zu verschweißenden Teile durch Anwendung von Wärme und Druck verschmolzen. Die Wärme wird mit Hilfe von berührenden Elektroden erzeugt, die Strom durch die zu verschweißenden Teile leiten. Bei der Anwendung auf Stahl gibt es zahlreiche Probleme bei diesem Verfahren, und fehlerhafte Verbindungsstellen sind nicht selten. Fehler in den geschweißten Bereichen sind beispielsweise Risse, Mikrorisse, Unterschneidungen, Porosität, fehlendes Schmelzen, fehlendes Eindringen, keine Verbindungsfestigkeit und Korrosionsfehler der Verbindungen.

Eine zweite Methode zur Verbindung von Metallen ist das Hartlöten. Hartlöten zur Verbindung von Metallteilen miteinander unterscheidet sich vom Schweißen dadurch, daß die Bindung durch Verwendung eines Füllmaterials mit einem Schmelzpunkt oberhalb etwa 400° C, aber unterhalb desjeni-

gen der zu verbindenden Basismetalle bewirkt wird. Das Füllmaterial wird durch Kapillarwirkung in dem Verbindungsbereich verteilt. Bei herkömmlichem Hartlöten gibt es kein merkliches Schmelzen des Basismetalles, wie im Falle der Schweißverfahren.

Die US-PS 4 115 682 beschreibt ein Verfahren zum Hartlöten von glasartigen Metallmaterialien, in denen zwei glasartige Metallkörper miteinander verbunden werden. Diese US-Patentschrift lehrt aber nicht die Verbindung von Metallkörpern, bei denen das Material, welches die miteinander zu verbindenden Oberflächen bildet, primär kristalline Struktur hat.

Die vorliegende Erfindung liefert ein Verfahren zur Verbindung von zwei Metallflächen unter Verwendung der durch einen elektrischen Strom erzeugten Widerstandswärme. Die beiden Metallflächen werden unter Verwendung eines Füllmaterials miteinander verbunden, das aus einer glasartigen Metallegierung besteht. Die beiden Metallflächen werden mit der glasartigen Metallegierung dazwischen gegeneinandergepreßt. Ein Strom wird an den Kompressionsbereich angelegt, und die erzeugte Widerstandswärme induziert eine Phasenumwandlung einschließlich eines Schmelzens der glasartigen Metallegierung.

Eine kohäsive Verbindung bekommt man zwischen zwei Metallflächen mit Hilfe einer geschmolzenen borhaltigen glasartigen Metallegierung. Spezielle metallurgische Eigenschaften

ten der glasartigen Metallegierung und der Diffusion des Übergangsmetall von den zu verbindenden Oberflächen führen zu dem beginnenden Schmelzen der zu verbindenden Oberflächen, selbst wenn schnelle Schmelzzyklen verwendet werden wie jene, die beim elektrischen Widerstandsschweißen angewendet werden.

In der Zeichnung bedeutet

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Apparatur für die Widerstandsverbindung unter Verwendung von glasartigen Metallegierungen als Füllmaterial,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Nahtverbindung mit glasartigem Metall als Füllmaterial und
- Fig. 3a bis 3d schematische Darstellungen, die aufeinanderfolgende Stufen einer Verbindung von Basismetallflächen mit glasartiger Metallegierung dazwischen als Füllstoff erläutern.

Man bekommt ein Verfahren zur Verbindung durch Widerstandsheizen. Zwei Basismetalloberflächen besitzen dazwischen angeordnet glasartige Metallegierung.

Die Basismetalloberflächen können aus irgendeinem Metall oder irgendeiner Metallegierung bestehen. Bevorzugte Metallegierungen sind beispielsweise jene, die für Konstruktionsteile geeignet sind. Stärker bevorzugte Legierungen sind jene, die merkliche Mengen an Übergangsmetallen enthalten. Solche Legierungen sind beispielsweise Stähle, rostfreie Stähle und Legierungen auf der Basis von Eisen,

Kobalt, Nickel, Kupfer und Titan. Repräsentative Beispiele sind etwa Konstruktionsstähle oder Baustähle der Typen, die im ASTM-Handbuch (1961), Band 1, Seite 87 unter dem Begriff "structural steels" angegeben sind.

Bevorzugte zu verbindende Legierungen sind jene auf der Basis von Eisen, Kobalt und Nickel und jene mit einer Zusammensetzung, die Eisen, Kobalt, Nickel und deren Gemische umfaßt, wovon etwa 0 bis 30 Atom-% durch Chrom, etwa 0 bis 5 Atom-% durch Wolfram, etwa 0 bis 15 Atom-% durch Molybdän, etwa 0 bis 10 Atom-% durch Mangan, etwa 0 bis 5 Atom-% durch Aluminium, etwa 0 bis 2 Atom-% durch Niob, etwa 0 bis 6 Atom-% durch Titan, etwa 0 bis 3,5 Atom-% durch Kupfer und etwa 0 bis 0,5 Atom-% durch Vanadin ersetzt sind.

Die Basismetalloberflächen können Teil irgendeiner Metallstruktur sein. Bevorzugte Metallstrukturen sind beispielsweise Bögen, wie solche mit Vertiefungen oder Vorsprüngen.

Die glasartigen Metallegierungen, die nach der Erfindung brauchbar sind, sind beispielsweise die in der US-PS 3 856 513 beschriebenen Legierungen. Bevorzugte glasartige Legierungen sind jene auf der Basis von Eisen, Nickel, Kobalt und/oder Chrom. Bevorzugt sind jene glasartigen Legierungen, die ein Metalloid enthalten, das kleine Mengen von Bor einschließt. Bevorzugt sind Legierungen, die etwa 5 bis 12 Atom-% Bor enthalten, und stärker bevorzugt sind Zusammensetzungen, die 6 bis 8 Atom-% Bor enthalten.

008.55.81

3117432

Bevorzugte glasartige Metallegierungen auf der Basis von Nickel und/oder Eisen können einen Gesamtmetallgehalt von etwa 84 bis 75 Atom-% und einen Nichtmetallgehalt (Bor, Silicium, Kohlenstoff und Phosphor) von etwa 16 bis 25 Atom-% haben. Von dem Metall können etwa 0 bis 30 Atom-% durch Chrom, etwa 0 bis 35 Atom-% durch Kobalt, etwa 0 bis 5 Atom-% durch Molybdän und/oder etwa 0 bis 2 Atom-% durch Wolfram ersetzt sein. Bei Legierungen auf Eisenbasis können von dem Metall außerdem etwa 0 bis 10 Atom-% durch Mangan und/oder etwa 0 bis 10 Atom-% durch Vanadin ersetzt sein.

Auch können die Metalle Niob, Tantal, Aluminium, Titan usw. in die glasartige Metallegierung eingearbeitet werden, doch sind diese Metalle schwieriger zu verarbeiten.

Beispielsweise kann die Legierung eine Zusammensetzung haben, die im wesentlichen aus 0 bis etwa 4 Atom-% Eisen, 0 bis etwa 26 Atom-% Chrom, 0 bis etwa 20 Atom-% Nickel, 0 bis etwa 4 Atom-% Wolfram, 0 bis etwa 4 Atom-% Molybdän, 0 bis etwa 20 Atom-% Bor, 0 bis etwa 12 Atom-% Silicium, 0 bis 12 Atom-% Phosphor, 0 bis etwa 2 Atom-% Kohlenstoff und dem Rest im wesentlichen aus Kobalt und üblichen Verunreinigungen besteht.

Abgesehen davon, daß die Zusammensetzung die obigen Elemente in den angegebenen Zusammensetzungsbereichen enthält, muß sie auch derart aufgebaut sein, daß die Gesamtheit von Eisen, Chrom, Nickel, Wolfram, Molybdän und Kobalt

00.05.61

3117432

im Bereich von etwa 75 bis 85 Atom-% liegt und die Gesamtheit von Bor, Phosphor, Silicium und Kohlenstoff den Rest, d.h. etwa 15 bis 25 Atom-% ausmacht.

Die glasartige Metallegierung kann nach einem Verfahren hergestellt werden, das darin besteht, daß man eine Schmelze der Zusammensetzung bildet und die Schmelze auf einem rotierenden Kühlrad oder Abschreckrad mit einer Geschwindigkeit von wenigstens etwa 10^5 °C/Sek. abschreckt.

Die Füllmetallfolie ist leicht herstellbar als homogener duktiler Streifen, der für Hartlöten als Schmelzmaterial geeignet ist. Diese homogene Zusammensetzungseigenschaft des glasartigen Metallstreifens führt zu homogenen flüssigen Schmelzen mit minimalem Überhitzen. Vorteilhafterweise kann die Metallfolie zu komplizierten Formen ausgestanzt werden, um Verbindungsvorformen zu erhalten.

Die gebildete verflüssigte Schmelze hat im wesentlichen die gleiche Zusammensetzung wie der glasartige Streifen. Die schnelle Diffusion der Übergangsmetalle aus den Stücken, die miteinander verbunden werden sollen, führt aber zur Verminderung des Borgehaltes (Metalloidgehaltes) in der verflüssigten Schmelze, so daß man eine duktile Verbindung bekommt. Die Gläser mit niedrigem Borgehalt (Metalloidgehalt) sind bevorzugt als Füllmaterial, da sie leicht duktile Verbindungen bilden. Borhaltige Metallglasschmelzen benetzen die zu verbindenden Oberflächen leicht. Oberflächenbenetzung wird durch Verwendung von glasartigen Metalllegierungen verbessert, die auf dem gleichen Metall wie

die Metalloberflächen basieren. Die glasartigen Metallegierungen können in irgendeiner Form aufgebracht werden. Geeignete Formen sind beispielsweise Bögen, Bänder, Pulver und Zusammensetzungen mit Bindemitteln.

Die glasartige Metallegierung wird zwischen den Metalloberflächen angeordnet. Dies erreicht man, indem man ein Stück glasartiges Metallegierungsband zwischen die Metallflächen legt. Alternativ kann auch ein Stück glasartiger Metallegierung an einer Metalloberfläche angeordnet und die zweite Metalloberfläche unter Bildung einer Sandwichstruktur dagegen gelegt werden.

Die Metalloberflächen werden mit der glasartigen Metallegierung dazwischen angeordnet gegeneinander gepreßt. Dies kann nach Verfahren erfolgen, die in irgendeinem herkömmlichen Widerstandsschweißverfahren, wie beim Punktschweißen, Nahtschweißen, Buckelschweißen, Schlagschweißen und Stoßschweißen angewendet werden.

Der Druck kann durch Elektroden aufgebracht werden, die auf die zu verbindende Fläche Druck übertragen oder ausüben und elektrischen Strom an diese Fläche liefern. Druck wird verwendet, um die Werkstücke zusammenzuhalten, den Stromfluß zu lokalisieren, beizutragen, das geschmolzene Metall in dem begrenzten Bereich zu halten und in einigen Fällen schließlich viel von dem geschmolzenen Metall bei der Vollständigung der Verbindung abzustößen. Da der Schmelzpunkt der glasartigen Legierung allgemein niedriger als

0010501

3117432

der des Metalles ist, wird während der Bindung in dem Verbindungsbereich ein guter Wärmegradient beibehalten. Gute Fließfähigkeitseigenschaften der glasartigen Metallschmelzen ergeben gute Verbindungen bei vermindertem Elektrodendruck. Dies vermindert die Elektrodenabnutzung und erfordert niedrigen Elektrodenstrom und Druck. Die Elektroden für das Verklemmen der zu verbindenden Teile bestehen aus einer Kupferlegierung. Kupfer ist bevorzugt, da sein niedriger elektrischer Widerstand dazu beiträgt, Kontaktwiderstandsheizung zwischen der Elektrode und dem Arbeitsstück auf ein Minimum herabzusetzen. Durch die Elektroden kann mit Hilfe von Federn, Hebeln, Nocken und hydraulischen oder pneumatischen Systemen Druck aufgebracht werden.

Elektrischer Strom wird an den zu verbindenden Bereich geliefert. Die glasartige Metallegierung hat vorzugsweise einen höheren spezifischen Widerstand als die umgebende Metalloberfläche. Die Wärme für die Verbindung wird zwischen den zu verbindenden Teilen durch den Widerstand gegen den Durchgang eines elektrischen Stromes erzeugt. Der Druckgang des Stromes erzeugt Wärme an den Verbindungspunkten der glasartigen Metallegierung und der Metalloberfläche. Während elektrischer Widerstand Wärme in dem Werkstück während des Stromdurchganges erzeugt, kann man noch größere Heizeffekte an den Oberflächen wegen des Kontaktwiderstandes finden. Da zwei sich berührende Oberflächen den Stromfluß nicht so wirksam erleichtern wie ein festes Teil, ist der elektrische Widerstand an

Der Stromfluß wird kurz gehalten, um das Schmelzen auf einen kleinen Metallklumpen zu beschränken. Bei der Verfestigung bildet der Klumpen den Kern der "Punktschweißung". Die durch das Metall gehende Strommenge sollte ausreichen, um eine Phasenumwandlung in der glasartigen Metallegierung zu bewirken, und führt vorzugsweise zur Verflüssigung von etwas Legierung in dem Verbindungsbereich.

Der Strom ist vorzugsweise Gleichstrom, doch sind auch Wechselströme mit niedrigerer Frequenz bis zu etwa 10^7 Hz geeignet. Typischerweise liegt die Quetschzeit bei etwa 1/100 Sekunde bis 1 Sekunde.

Für wirksames Arbeiten kann die Anlage auf einer Widerstandsschweißapparat derart angeordnet werden, daß die zwischen den Elektroden gehaltenen Stücke einer Reihe von Operationen in Schnellfeuerreihenfolge ausgesetzt werden können. Es ist möglich, mit einer Apparatur dieser Art (1) Klemmdruck auszuüben, (2) geringen Strom für das Vorerhitzen einzuführen, (3) starken Strom für die Verbindung einzuführen, (4) eine bemessene Zeitdauer verstreichen zu lassen, so daß die Verbindung abkühlen kann, (5) entweder starken oder geringen Strom für etwas spezielle Wärmebehandlung einzuführen und (6) gegebenenfalls erhöhten Schmiededruck für eine Kornverfeinerung aufzubringen. Ein Verbindungsprogramm wie dieses kann für das Verbinden einschließlich einer Härtung von glasartiger Metallegierung verwendet werden, die zu Brüchen neigen könnte, wenn sie mit einem Stromstoß verbunden und ohne Vorkehrungen gekühlt würde.

Die resultierende Metallverbindung ist fest und im wesentlichen frei von Brüchen, Mikrorissen, Hinterschneidungen und Porosität. Fehlendes Schmelzen und fehlende Durchdringung bilden keine Probleme, wenn die glasartigen Metallegierungen nach der Erfindung verwendet werden. Geeignete glasartige Metallegierungszusammensetzungen führen zu niedriger Korrosion an der Verbindung. Da die mit diesen Legierungen gebildete Verbindung dazu neigt, bezüglich der verbundenen Metalle kathodisch zu sein, wird die Verbindung gegenüber ernsthafter Korrosion geschützt. Die große anodische Fläche der verbundenen Teile und die kleine kathodische Fläche, die leicht passiviert werden kann, führt insgesamt zu einer niedrigen Korrosionsgeschwindigkeit der Struktur. Eine solche niedrige Korrosion glasartiger Legierungszusammensetzungen enthält vorzugsweise Chrom. Das Verfahren nach der Erfindung ist brauchbar zur Herstellung von Gegenständen, wie Wellenplatten, Wärmeaustauschern und dergleichen, wo Korrosion in Betracht gezogen werden muß.

Elektrische Widerstandsschweißapparaturen sind im allgemeinen für eine bestimmte Stromstärke eingerichtet und können nacheinander Bögen nur bis zu einer bestimmten Dicke verschweißen. Während der Experimente mit dem Verbindungsverfahren mit glasartigem Metall konnten Bögen, die zweimal so dick sind, leicht miteinander verbunden werden. Die elektrischen Widerstandsschweißeinrichtungen erfordern sehr genaue Strom/Zeit-Zyklen für erfolgreiches Verschweißen. Das Verbindungsverfahren mit glasartigem Metall erfordert jedoch weniger

scharfe Strom/Zeit-Zyklen.

In Fig. 1 ist eine Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens des Widerstandverbindens mit glasartigem Metall gezeigt. Zwei Metallbögen 10 und 12 haben dazwischen angeordnet einen Bogen 14 aus glasartiger Metallegierung. Die Elektroden 16 und 18 liefern Strom an die Metallbögen und pressen gleichzeitig die Metallbögen in einem kleinen Bereich gegen den glasartigen Metallgierungsbogen. Das Anlegen von Spannung an die Elektroden führt zu einem Strom, der Wärme in dem Verbindungsbereich 20 entwickelt, was zu einem Verschmelzen der glasartigen Metallegierung mit den Metallbögen führt.

In Fig. 2 ist die Herstellung einer Naht entlang einer Fuge gezeigt. Zwei Metallstücke 22 und 24 haben dazwischen angeordnet einen Bogen aus glasartiger Metallegierung 26. Die Elektroden (nicht gezeigt) bewegen sich entlang einer Linie in Längsrichtung der Stücke 22 und 24 und verbinden die Metallteile mit einer Reihe von Punkten 28, die eine Naht ergeben, miteinander.

In Fig. 3 sind grafisch die Stufen einer Widerstandsverbindung mit glasartiger Metallegierung gezeigt.

Fig. 3a stellt dar, daß die Quetschzeit das Zeitintervall ist, während welchem Druck auf die Metallteile ausgeübt wird.

Fig. 3b stellt dar, daß die Verbindungszeit das Zeitintervall ist, während welchem elektrischer Strom an die Metallteile angelegt wird.

Fig. 3c stellt dar, daß die Haltezeit das Zeitintervall ist,

00 05 81

3117432

- 16 -

während welchem Druck auf die Teile 22 und 24 nach Beendigung des Anlegens des elektrischen Stromes aufgebracht wird.

Fig. 3d stellt dar, daß die Abschaltzeit dasjenige Zeitintervall ist, bei dem auf die Teile 22 und 24 durch die Elektroden aufgebrachter Druck entlastet wird.

03.03.82

17.

3117432

Nummer:
Int. Cl.³:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

3117432
B23K 11/16
2. Mai 1981
18. März 1982

FIG. 1

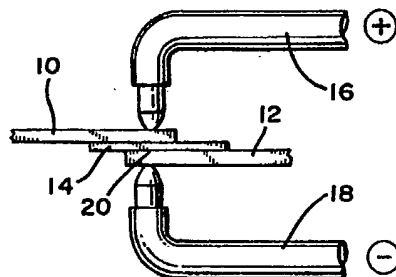


FIG. 2

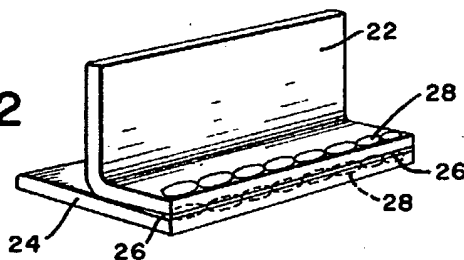


FIG. 3a

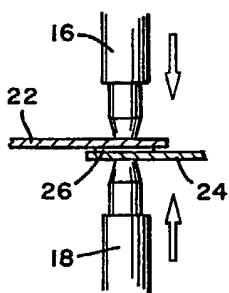


FIG. 3b

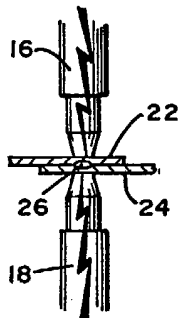


FIG. 3c

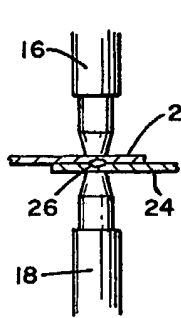


FIG. 3d

